ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2017, № 3-4

УДК 681.51:621.3.015.3:537.523.3:697.946

Л.З. Богуславський[1], Л.Є. Овчиннікова[1], С.С. Козирєв[2]
[1]Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Україна
пр. Богоявленський, 43 А, м. Миколаїв, 54018
[2] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Україна
пр. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРАЦІЇ ТА ДЕСТРУКЦІЇ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

L.Z. Boguslavsky[1], L.E. Ovchinnikova[1], S.S. Kozyrev[2]
[1]Institute of Pulse Processes and Technologies of NAS of Ukraine, Ukraine
43 A, Bohoiavlenskyi av., Mykolaiv, 54018
[2]Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine
9, Heroiv Ukrainy av., Mykolaiv, 54025

CONTROL SYSTEM FOR COMPLEX OF ELECTROFILTRATION AND DESTRUCTION OF GAS EMISSIONS WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Розроблено інтелектуальну систему керування комплексом електрофільтрації та деструкції, яка забезпечує коригування параметрів високовольтних високочастотних електричних імпульсів відповідно до поточного складу екологічно небезпечних промислових газових викидів, що дає змогу забезпечити ефективну деструкцію усіх вагомих складових газових викидів у процесі обробки.

Ключові слова: інтелектуальна система керування, високовольтні високочастотні електричні імпульси, електрофільтрація, деструкція, газові викиди.

The intellectual control system of the electrofiltration and destruction complex is developed, which ensures adjustment of the parameters of high-voltage high-frequency electric impulses in accordance with the current composition of environmentally hazardous industrial gas emissions, which enables to effectively destroy all significant components of gas emissions during processing.

Keywords: intelligent control system, high-voltage high-frequency electric pulses, electrofiltration, destruction, gas emissions.

Вступ

Газоочисні системи теплових електростанцій та інших промислових об'єктів, що діють на даний час в Україні, не забезпечують дотримання європейських нормативних вимог за рівнем викидів твердих частинок. Відсутнє також очищення від таких шкідливих газових викидів, як NO_x, SO_x, CO_x, що перевищують норми ЄС у багато разів. Енергоспоживання діючих систем електрофільтрації в 5-6 разів перевершує аналогічні показники розвинених країн [8, 9].

Для забезпечення виконання європейських вимог до газових викидів і підвищення ефективності існуючих електрофільтрів без їх капітальної реконструкції розроблений спосіб, який використовує додаткові імпульсні високовольтні високочастотні джерела живлення, що формують імпульси напруги спеціальної форми [6], які забезпечують як осадження пилу, в результаті дозарядки, так і ефективну деструкцію екологічно небезпечних складових газових викидів.

Постановка проблеми

Для дозарядки і осадження певного виду пилу, а також для деструкції кожного виду небезпечних складових газових викидів розроблялися окремі додаткові імпульсні високовольтні високочастотні джерела живлення без можливості

поточного керування параметрами імпульсів у процесі електрофільтрації. Це знижувало ефективність їх використання в комплексних системах електрофільтрації при поточній зміні якісного і кількісного складу викидів і призводило до значного збільшення витрат на очищення промислових газових викидів. Усунення зазначених недоліків існуючих систем електрофільтрації і деструкції екологічно небезпечних газових викидів вимагає проведення додаткових досліджень та розробки ефективних систем керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведені раніше дослідження показали наявність у промислових газових викидах різних небезпечних складових і пилових частинок з різним опором, а також поточну зміну їх співвідношення в процесі очищення [3], що обумовлює необхідність коригування параметрів імпульсів додаткових імпульсних високовольтних високочастотних джерел живлення відповідно до поточного складу промислових газових викидів. Були визначені необхідні параметри імпульсів (амплітуда, тривалість, крутизна фронту, частота слідування) для дозарядки і осадження певного виду пилу, а також для деструкції кожного виду небезпечних складових газових викидів [1].

Додаткові імпульсні високочастотні джерела живлення, що застосовуються в системах електрофільтрації, не мають можливості поточного керування параметрами імпульсів у процесі електрофільтрації, що істотно знижує їх ефективність [5].

Для підвищення ефективності застосування додаткових імпульсних високочастотних джерел живлення в системах комплексної електрофільтрації і більш повного осадження і деструкції небезпечних складових промислових газових викидів необхідна розробка інтелектуальних систем керування імпульсними високовольтними високочастотними джерелами живлення комплексних систем електрофільтрації, що дозволяють керувати параметрами імпульсів відповідно до поточного стану оброблюваного середовища .

Мета дослідження

Метою роботи є дослідження екологічно небезпечних промислових газових викидів як об'єкта обробки, а також імпульсних високовольтних високочастотних джерел живлення як об'єкта керування для визначення координат вектору стану, вибору інформаційних вхідних координат і каналів керуючих впливів з метою створення інтелектуальної системи керування, що дозволяє варіювати параметри імпульсів напруги в процесі осадження різноімпедансних пилових частинок і деструкції екологічно небезпечних складових залежно від поточного складу і вагових часток промислових газових викидів.

Виклад основного матеріалу

Попередні дослідження екологічно небезпечних промислових викидів показали, що в їх склад входять різноімпедансні пилові частинки; сполуки вуглецю CO_x, сірки SO_x і азоту NO_x; високомолекулярні канцерогенні сполуки. Для осадження різноімпедансних пилових частинок і деструкції екологічно небезпечних складових необхідні високовольтні імпульси напруги спеціальної форми з різними параметрами [3].

З метою забезпечення ефективного осадження пилу при електрофільтрації використовують його дозарядку високовольтними імпульсами напругою (30-100)% $U_{дж}$, тривалість яких (зазвичай це десятки-сотні мікросекунд) повинна відповідати електричним параметрам пилу. Частота проходження розрядних імпульсів в залежності від питомого електричного опору пилу повинна знаходитися в діапазоні

10...1000 Гц – це умова забезпечення стабільного розряду при зміні характеристик середовища в процесі роботи імпульсних джерел живлення в значному обсязі оброблюваних викидів. Таким чином, залежно від поточного складу пилу виникає необхідність керування величиною амплітуди, крутизни, тривалості та частоти проходження імпульсів у процесі обробки для ефективного осадження різноімпедансних складових.

Для деструкції екологічно небезпечних складових необхідно забезпечити плазмохімічне перетворення окислів вуглецю CO_x, сірки SO_x і азоту NO_x в порівняно безпечні з'єднання, а також здійснити плазмохімічне перетворення високомолекулярних канцерогенних сполук у прості, безпечні з'єднання. Як показали попередні експериментальні дослідження, деструкція можлива при створенні нерівномірного електричного поля напругою не менше 2 МВ/м, що технічно можна реалізувати формуванням стримерного об'ємного розряду в газовому середовищі. Для формування такого розряду при атмосферному тиску без попередньої іонізації необхідні високовольтні високочастотні імпульси з наносекундним фронтом, амплітудою від 60 до 120 кВ, тривалістю від 50 до 100 мкс, з частотою проходження від 1 до 10 кГц залежно від складу газових викидів [1]. Таким чином, забезпечення результативної деструкції екологічно небезпечних складових газових викидів вимагає зміни параметрів імпульсів, що генеруються імпульсним високовольтним джерелом живлення, відповідно до поточного складу середовища.

У результаті проведених досліджень об'єкта обробки – екологічно небезпечних газових викидів в електрофільтрі – встановлено, що в процесі фільтрації змінюється їх кількісний і якісний склад. Для забезпечення ефективного осадження різноімпедансних пилових частинок і деструкції екологічно небезпечних складових необхідно забезпечити поточний контроль складу викидів з метою коригування параметрів імпульсів, що генеруються імпульсним високовольтним джерелом живлення, відповідно до кількісного та якісного складу об'єкта обробки – газових викидів.

Забезпечення операційного контролю складу газових викидів потребувало проведення аналізу існуючих газових аналізаторів. Як датчик газового аналізатора, для визначення складу газових викидів може бути обраний первинний електрохімічний перетворювач (ПЕП) для перетворення масової концентрації газової складової в струмовий сигнал, пропорційний концентрації. А для визначення масової концентрації різних зважених пилових частинок у газоаналізаторі можна використовувати вимірювач оптичної щільності пилогазового середовища ВГО-2 [4]. Застосування газоаналізаторів дозволяє проводити безпосередній поточний аналіз структури конкретної газової суміші і визначати в обсязі небезпечних викидів кількість і ваговий коефіцієнт найбільш значущих складових газових викидів, що може бути використано як інформаційні координати в системі керування.

Комплексні системи електрофільтрації екологічно небезпечних промислових викидів можуть забезпечити ефективне осадження високоомного пилу і деструкцію екологічно небезпечних газових викидів за допомогою додаткових керованих імпульсних джерел живлення, що генерують високовольтні високочастотні імпульси, кількість і параметри яких повинні відповідати кількості і величині часток вагомих складових промислових викидів. Для забезпечення такої відповідності необхідна розробка інтелектуальної системи керування імпульсними джерелами живлення.

З метою розробки інтелектуальної системи керування проведено дослідження імпульсного високовольтного високочастотного джерела живлення як об'єкта

керування для вибору каналів керуючих впливів і інформаційно ефективних координат контролю. У системах електрофільтрації як додаткове імпульсне джерело живлення використовується група генераторів високовольтних імпульсів (Г1 ... ГN) з наносекундним фронтом для отримання стримерного коронного розряду [5].

Необхідна кількість генераторів (Г1 ... ГN) в імпульсному джерелі живлення дорівнює кількості вагомих складових промислових газових викидів і визначається за результатами попереднього аналізу їх складу [2].

У результаті проведених досліджень встановлено інформаційно ефективні і апаратно визначені вихідні координати генератора високовольтних імпульсів: амплітуда імпульсу, тривалість імпульсу, крутизна фронту імпульсу, частота проходження імпульсів. Каналами керуючих впливів генератора високовольтних імпульсів є входи регуляторів напруги і формувачів імпульсів генераторів високовольтних імпульсів, що входять до складу додаткового джерела живлення.

На підставі дослідження об'єкта обробки ОО (екологічно небезпечні промислові викиди в електрофільтрі) і об'єкта керування ОК (додаткове імпульсне джерело живлення, що складається з генераторів високовольтних імпульсів Г1...ГN) побудована узагальнена блок-схема інтелектуальної системи керування процесом очищення промислових викидів (рис. 1).

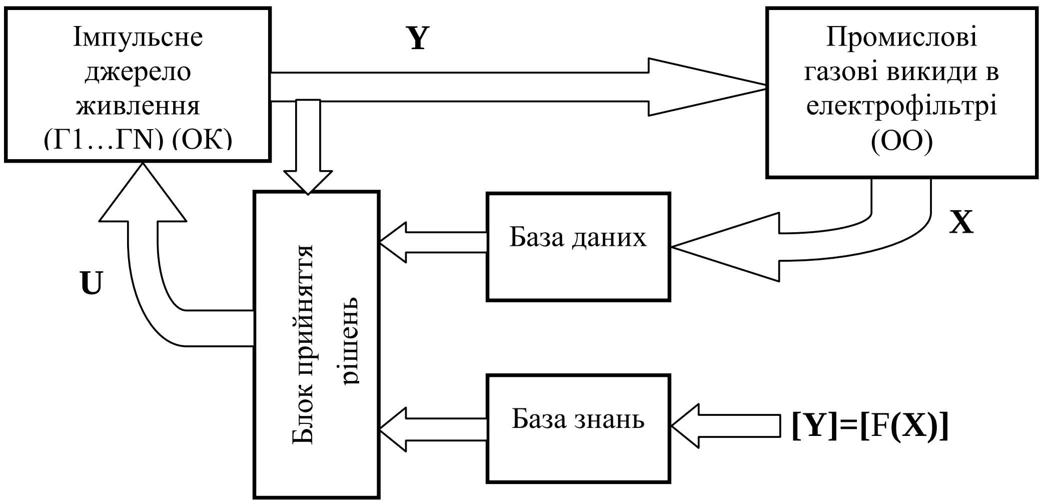


Рис. 1. Блок-схема інтелектуальної системи керування процесом очищення газових викидів

X – вектор стану об'єкта обробки (ОО); **Y** – вихідний вектор об'єкта керування (ОК); **U** – вектор керуючих впливів; [**Y**] = [**F(X)**] – множина законів керування.

Координатами вектора стану **X** об'єкта обробки (ОО) є сигнали з газоаналізатора, відповідні ваговим коефіцієнтам найбільш значущих складових промислових викидів. Координатами вихідного вектора **Y** об'єкта керування (ОК) є параметри імпульсів на виході генераторів (амплітуда імпульсу, тривалість імпульсу, крутизна фронту імпульсу, частота проходження імпульсів). Координатами вектора керуючих впливів **U** є сигнали, що надходять на регулятор напруги і формувач імпульсів генератора з системи керування за алгоритмом, синтезованим у блоці прийняття рішень відповідно до поточних значень координат вектора стану об'єкта обробки, вихідного вектора об'єкта керування і множиною законів керування,

закладених у базу знань, отриманих за результатами попередньо проведених експериментальних досліджень.

Для формування бази знань проведено серію експериментів на створених макетних зразках високовольтного обладнання комплексних систем електрофільтрації екологічно небезпечних промислових викидів [2] та на реальних установках електрофільтрації, що дозволило отримати множину законів керування у вигляді однозначної відповідності **[Y] = [F(X)].** Результати експериментальних досліджень дають можливість встановити необхідні значення параметрів імпульсів, що генеруються імпульсним високовольтним високочастотним джерелом живлення, для осадження різноімпедансних пилових частинок і деструкції екологічно небезпечних газових викидів при різних поєднаннях складових елементів газових викидів та їх вагових часток.

На підставі аналізу результатів проведених досліджень синтезовано адаптивний алгоритм роботи інтелектуальної системи керування імпульсним високочастотним високовольтним джерелом живлення систем електрофільтрації (рис. 2).

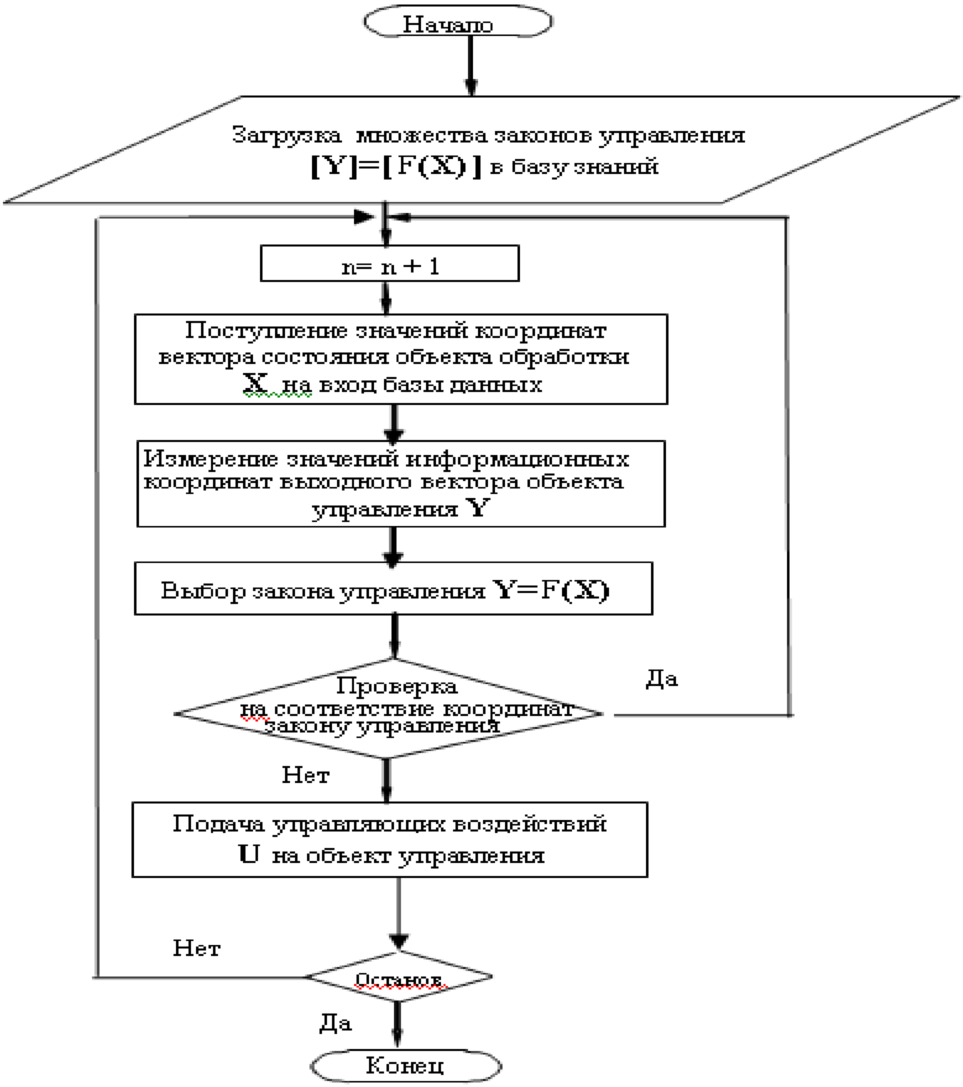


Рис. 2. Алгоритм роботи інтелектуальної системи керування імпульсним високочастотним високовольтним джерелом живлення

Синтезований алгоритм реалізований на промислових контролерах фірми Atmel серії Mega (AtMega16, AtMega8535) і контролерах STM 32 з ядром ARM, які забезпечують необхідну швидкодію керування елементами системи і мають повний набір необхідних функцій, додаткові підсистеми індикації і панелі введення інформації.

При забезпеченні можливості зміни бази знань, створена інтелектуальна система керування є універсальною і дозволяє здійснювати інтелектуальне керування імпульсними високовольтними високочастотними джерелами живлення комплексних систем електрофільтрації, гарантуючи ефективну деструкцію і осадження всіх вагомих складових різноімпедансних газових викидів при мінімальних енерговитратах.

Висновки

1. Проведено експериментальні дослідження екологічно небезпечних промислових газових викидів як об'єкта обробки і імпульсного високовольтного високочастотного джерела живлення як об'єкта керування, що складається з N генераторів високовольтних імпульсів з наносекундним фронтом. На підставі проведених досліджень визначені інформаційно ефективні і апаратно визначені вихідні координати генератора високовольтних імпульсів: амплітуда імпульсу, тривалість імпульсу, крутизна фронту імпульсу, частота проходження імпульсів. Як канали керуючих впливів визначені входи генераторів високовольтних імпульсів (Г1...ГN), що входять до складу додаткового імпульсного високовольтного джерела живлення системи електрофільтрації. У результаті побудована архітектура інтелектуальної системи керування процесом очищення газових викидів.
2. База знань інтелектуальної системи керування сформована за результатами експериментальних досліджень на створених макетних зразках високовольтного обладнання комплексних систем електрофільтрації. Для синтезу множини законів керування були визначені значення параметрів імпульсів, необхідні для осадження різноімпедансних пилових частинок і деструкції екологічно небезпечних складових промислових викидів, при різних поєднаннях складових елементів і їх вагових часток. Отриманні дані стали основою для синтезу алгоритму керування і формування бази знань.
3. Розроблено алгоритм роботи інтелектуальної системи керування імпульсним високочастотним джерелом живлення системи електрофільтрації, що забезпечує керування параметрами імпульсів генераторів, що входять до складу джерела живлення, відповідно до поточного складу промислових газових викидів. Це дає можливість генерувати високовольтні імпульси з параметрами, що дозволяють вести ефективну деструкцію всіх екологічно небезпечних вагомих складових і осадження різноімпедансних пилових частинок у процесі обробки промислових газових викидів при мінімальних енерговитратах.

Література

1. Богуславский Л.З. Влияние режимов работы высоковольтного источника питания на формирование стримерного коронного разряда и эффективность систем газоочистки [Текст] / Л.З. Богуславский, Л.Н. Мирошниченко, Ю.Г. Казарян, Н.С. Ярошинский // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. - Ч. 1. - 2011. - С. 44-49.
2. Богуславский Л.З. Создание макетных образцов высоковольтного оборудования комплексных систем электрофильтрации экологически опасных промышленных выбросов [Текст] / Л.З. Богуславский, Л.Н. Мирошниченко, В.В. Диордийчук, Д.В. Винниченко, Н.С. Ярошинский // Вестник «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений», № 52 (958), 2012. - Харьков: НТУ «ХПИ». - С. 31-39.
3. Богуславский Л.З. Электрофильтрация разноимпедансных газовых выбросов в комплексной системе пылегазоочистки экологически опасных промышленных объектов [Текст] /

Л.З. Богуславский, Л.Н. Мирошниченко // Вестник «ХПИ». Тем. вып. «Техника и электрофизика высоких напряжений», №21, 2014. - Харьков: НТУ «ХПИ». - С. 12 - 16.
4. Газоаналитические приборы, ЗАО «Украналит». // [Електр. Ресурс] – Режим доступу: http: // www.ukranalyt.com.ua/index4_0.htm [web].
5. Пат. 50169 Україна, МПК H03K 3/53 (2006.01) Генератор високовольтних імпульсів з наносекундним фронтом для отримання стримерного коронного розряду / Богуславський Л.З., Мирошниченко Л.М., Казарян Ю.Г., Христо О.І.; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. - № u 2009 12959; заявл. 14.12.2009; опубл. 25.05.10. Бюл. № 10.
6. Пат. 90293 Україна, МПК (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 H1T 19/00. Спосіб деструкції різноімпедансних газових викидів небезпечних промислових об'єктів / Богуславський Л.З., Мирошниченко Л.М., Діордійчук В.В.; заявник та патентовласник Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України. - № u 2013 11731; заявл. 04.10.2013; опубл. 26.05.14. Бюл. № 10.
7. Пат. 95858 Україна, МПК (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K 1/00. Система імпульсного електроживлення електрофільтрів для очищення різноімпедансних газових викидів / Богуславський Л.З., Мирошниченко Л.М., Овчиннікова Л.Є. - № u 2014 07889; заявл. 14.07.2014; опубл. 12.01.15. Бюл. № 1.
8. Родионов, А. И. Технологические процессы экологической безопасности [Текст] / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. - Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
9. Чекалов, Л.В. Основы разработки и конструирования электрофильтров нового поколения [Текст] / Л.В. Чекалов // ИнформЦемент. – 2006. – № 5.– С. 67-69.

Literatura

1. Boguslavskij L.Z. Vlijanie rezhimov raboty vysokovoltnogo istochnika pitanija na formirovanie strimernogo koronnogo razrjada i efektivnost sistem gazoochistki [Print] / L.Z. Boguslavskyj, L.N. Myroshnychenko, Yu.G. Kazaryan, N.S. Yaroshynskyj // Tehn. elektrodinamika. Tem. vyp. Sylova elektronika ta energotfektyvnist. - 2011. - P. 44-49 .
2. Boguslavskij L.Z. Sozdanie maketnyh obrazcov vysokovoltnogo oborudovaniya kompleksnyh sistem elektrofiltracii ekologicheski opasnyh promyshlenyh vybrosov [Print] / L.Z. Boguslavskyj, L.N. Myroshnychenko, V.V. Dyordyjchuk, D.V. Vynnychenko, N.S. Yaroshynskyj // Vestn. Har'k. politehn. in-ta, No 52 (958), 2012. - P. 31-39.
3. Bohuslavskyy L.Z. Elektrofyltratsyya raznoympedansnykh hazovykh vybrosov v kompleksnoy systeme pylehazoochystky ekolohychesky opasnykh promyshlennykh ob'yektov [Print] / L.Z. Bohuslavskyy, L.N. Myroshnychenko // Vestn. Har'k. politehn. in-ta, No 21, 2014. - P. 12-16.
4. Gazoanaliticheskie priboryi, ZAO «Ukranalit». – http: // www.ukranalyt.com.ua/index4_0.htm [web].
5. Pat. 50169 Ukrayina, MPK H03K 3/53 (2006.01) Generator vysokovoltnykh impulsiv z nanosekundnym frontom dlya otrymannya strypernogo koronnogo rozryadu Boguslavskyj L.Z., Myroshnychenko L.M., Kazaryan Yu.G., Xrysto O.I.; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impulsnykh procesiv i texnologij NAN Ukrayiny. - № u 2009 12959; zayavl. 14.12.2009; opubl. 25.05.10. Byul. No 10.[print].
6. Pat. 90293 Ukrayna, MPK (2014) B01D 53/32 (2006.01) C10K 1/00 H1T 19/00. Sposib destruktsiyi riznoimpedansnykh hazovykh vykydiv nebezpechnykh promyslovykh ob"yektiv Bohuslavskyy L.Z., Myroshnychenko L.M., Diordiychuk V.V.; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impul'snykh protsesiv i tekhnolohiy NAN Ukrayiny. - № u 2013 11731; zayavl. 04.10.2013; opubl. 26.05.14. Byul. No 10 [Print].
7. Pat. 95858 Ukrayna, MPK (2014.01) H03K3/53 B01D 53/32 C10K1/00 Systema impulsnoho elektrozhyvlennya elektrofiltriv dlya ochyshchennya riznoimpedansnykh hazovykh vykydiv Bohuslavskyy L.Z., Myroshnychenko L.M., Ovchynnikova L.Ye; zayavnyk ta patentovlasnyk Instytut impul'snykh protsesiv i tekhnolohiy NAN Ukrayiny. - № u 2014 07889; zayavl. 14.07.2014; opubl. 12.01.15. Byul. No 1 [print].
8. Rodionov, A.I. Processes environmental safety / A.I. Rodionov, V.N. Klushin, V.G. Sister. - Kaluga: Izd N. Botchkareva, 2000. - 800 p.
9. Chekalov L.V. Fundamentals of design and development of a new generation of electrostatic / L.V. Chekalov // InformCement . - 2006. - № 5. - P. 67-69.

RESUME

L.Z. Boguslavsky, L.E. Ovchinnikova, S.S. Kozyrev

Control system for complex of electrofiltration and destruction of gas emissions with elements of artificial intelligence

Experimental studies of environmentally hazardous industrial gas emissions as an object of processing and pulsed high-voltage high-frequency power supply as an object of control, consisting of N generators of high-voltage pulses with a nanosecond front, are

carried out. On the basis of the conducted researches, information-effective and hardware-determined initial coordinates of the generator of high-voltage pulses are defined: pulse amplitude, pulse duration, slope of the pulse front, pulse passage frequency. Inputs of regulators of voltage (Г1 ... ГN) are accepted as channels of control influences. As a result, the architecture of the intellectual control system for the process of gas emissions clearing was constructed. The knowledge base of the intellectual control system is formed on the basis of experimental research on the prototype models of high-voltage equipment of integrated systems of electrofiltration. For the synthesis of the plurality of control laws, the values of the pulse parameters required for the precipitation of multi-impedance dust particles and the destruction of environmentally hazardous components of industrial emissions, with different combinations of the constituent elements and their weights, were determined. Obtained data became the basis for the synthesis of the control algorithm and the formation of the knowledge base.

An algorithm for the operation of the intelligent control system of the pulsed high-frequency power supply of the electrofiltration system is developed, which provides control of the pulse parameters of generators that are part of the power supply, in accordance with the current composition of industrial gas emissions. This makes it possible to generate high-voltage pulses with parameters that allow effective destruction of all environmentally hazardous heavy components and sedimentation of multi-impedance dust particles in the process of processing industrial gas emissions at minimum energy consumption.

Надійшла до редакції 19.10.2017

